

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 28 799.6

Anmeldetag: 27. Juni 2002

Anmelder/Inhaber: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München/DE

Bezeichnung: Vorrichtung und Verfahren zum Überwachen eines ablaufenden Prozesses

IPC: G 05 B 23/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 17. Juni 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A stylized, handwritten signature in black ink, consisting of a large, sweeping 'S' shape followed by a horizontal line.

Ozlerzon

Patentanwälte · Postfach 710867 · 81458 München

**Fraunhofer-Gesellschaft
zur Förderung der
angewandten Forschung e. V.
Leonrodstraße 54
80636 München
DE**

PATENTANWÄLTE

European Patent Attorneys
European Trademark Attorneys

Fritz Schoppe, Dipl.-Ing.
Tankred Zimmermann, Dipl.-Ing.
Ferdinand Stöckeler, Dipl.-Ing.
Franz Zinkler, Dipl.-Ing.

Telefon/Telephone 089/790445-0
Telefax/Facsimile 089/790 22 15
Telefax/Facsimile 089/74996977
e-mail: szsz_iplaw@t-online.de

**Vorrichtung und Verfahren zum Überwachen eines ablaufenden
Prozesses**

5 **Vorrichtung und Verfahren zum Überwachen eines ablaufenden Prozesses**

Beschreibung

10 Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Überwachen von Prozessen.

Die zunehmende Automatisierung von Prozessen oder Vorgängen der Industrie oder des täglichen Lebens erfordert eine Kontrolle und Steuerung. Dabei müssen aus Sensordaten solche
15 Informationen ermittelt werden, die Aussagen über den Stand des Prozesses liefern und ob der Prozeß bereits beendet ist. Diese Aussagen werden anhand der von den Sensoren ermittelten Meßwerte aufgrund des Prozeßwissens entweder vom
20 Bedienungspersonal oder über entsprechende Algorithmen ermittelt.

Im Stand der Technik werden zur Kontrolle und Steuerung von diskontinuierlich ablaufenden Prozessen in Flüssigkeiten,
25 einem Reinigungsschritt in einer industriellen Anlage zur Lebensmittelverarbeitung bei der Abreinigung von Belägen usw., in der Regel eine Vielzahl von Sensoren eingesetzt, die zur Beurteilung des Prozeßfortschrittes dienen. Falls der Prozeßfortschritt nicht direkt gemessen werden kann,
30 werden die Sensordaten in der Steuerung danach bewertet, ob der Prozeß beendet werden soll oder ein weiterer Prozeßschritt notwendig ist.

Für die Prozeßmeßtechnik werden verschiedene Sensoren zur
35 Messung jeweiliger Parameter verwendet. Diese Sensoren können Leitfähigkeitssensoren sein, die eine Leitfähigkeit beispielsweise ohmsch, mittels Voltammetrie oder Potentiometrie messen. Ferner werden auch Sensoren zur Messung der optischen Eigenschaften, beispielsweise mittels Durchlicht-,
40 Streulicht-, Oberflächenreflektionsmessung oder Spektroskopie verwendet. Weitere im Stand der Technik eingesetzte Sensoren umfassen Sensoren zur Erfassung der

5 Sensoren umfassen Sensoren zur Erfassung der Viskosität,
der Permittivität, beispielsweise durch Erfassung der Impe-
danz oder Impedanzspektroskopie, einer Temperatur, einer
Wärmeleitfähigkeit, einer Wärmekapazität oder chemische
10 Sensoren aller Art. Dabei ist es in der Regel unerheblich,
ob die Sensoren auf eine herkömmliche Art und Weise oder
mikrosystemtechnisch aufgebaut sind. Ferner ist ein Einbau
der Sensoren nicht kritisch, sofern der Einbauort zur Mes-
sung relevanter Eigenschaften geeignet ist.

15 Neben der Qualität der Sensoren und der Erfassung der Para-
meter durch die Sensoren ist die Bewertung der erfaßten Pa-
rameter von entscheidender Bedeutung. Im Stand der Technik
werden dazu wissensbasierte Algorithmen, wie beispielsweise
eine Fuzzy-Logik, eingesetzt.

20 Diese Verfahren weisen jedoch eine Reihe von Nachteilen
auf. Zum einen ist der Zusammenhang von Sensorparametern
mit dem Zustand des Prozesses typischerweise schwer und
aufwendig zu ermitteln. Störgrößen, die bei der Ermittlung
25 der Abhängigkeit der Sensorparameter vom Zustand des Pro-
zesses nicht auftraten, können nur schwer kompensiert wer-
den. Generell weisen wissensbasierte Algorithmen den Nach-
teil auf, daß sie auf unerwartete Änderungen nicht reagie-
ren können. Ferner müssen die zeitlichen Änderungen des
30 Sensors, d.h. eine Sensordrift, aufwendig kompensiert wer-
den oder es muß eine Nachkalibrierung des Sensors durchge-
führt werden.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine
35 Vorrichtung und ein Verfahren zu schaffen, die ein stabiles
Überwachen von ablaufenden Prozessen ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Überwachen eines
Prozesses nach Anspruch 1 und eine Vorrichtung zum Überwa-
40 chen eines Prozesses nach Anspruch 9 gelöst.

- 5 Die vorliegende Erfindung schafft ein Verfahren zum Überwa-
chen eines Prozesses mit folgenden Schritten:

Wiederholtes Erfassen von zumindest zwei unterschiedlichen
Informationen des Prozesses;

10

Durchführen einer Hauptkomponententransformation aufgrund
der erfaßten Informationen ohne Verwendung von vor dem
Überwachungsverfahren erfaßten Informationen, um einen
Hauptkomponenten-Meßvektor in einem Hauptkomponentenraum zu
15 berechnen;

Berechnen einer Prozeßindikatorgröße unter Verwendung des
berechneten Hauptkomponenten-Meßvektor und einem oder meh-
reren vorhergehend berechneten Hauptkomponenten-
20 Meßvektoren; und

Erkennen eines Prozeßendes unter Verwendung der Prozeßindi-
katorgröße.

- 25 Die vorliegende Erfindung schafft ferner eine Vorrichtung
zum Überwachen eines Prozesses mit folgenden Merkmalen:

einer Erfassungseinrichtung zum wiederholten Erfassen von
zumindest zwei unterschiedlichen Informationen des Prozes-
30 ses;

einer Einrichtung zum Durchführen einer Hauptkomponenten-
transformation aufgrund der erfaßten Informationen, wodurch
ein Hauptkomponenten-Meßvektor in einem Hauptkomponenten-
35 traum berechnet wird; und

einer Auswerteeinrichtung zum Berechnen einer Prozeßindika-
torgröße unter Verwendung des berechneten Hauptkomponenten-
Meßvektors und einem oder mehreren vorhergehend berechneten
40 Hauptkomponenten-Meßvektoren, wobei die Auswerteeinrichtung
ferner ausgebildet ist, um ein Ende des Prozesses unter
Verwendung der Prozeßindikatorgröße zu erkennen.

5

Die vorliegende Erfindung basiert auf der Erkenntnis, daß ein Ende eines diskontinuierlichen Vorgangs dadurch ausgezeichnet ist, daß sich die Prozeßparameter nicht mehr ändern und lediglich durch statistische Schwankungen oder Quereffekte beeinflusst werden. Eine empfindliche Beobachtung dieses Sättigungsvorgangs wird erreicht, indem eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt wird, die in einem einstufigen oder mehrstufigen Verfahren aus den Sensordaten berechnet wird. Dadurch wird eine Trajektorie der Meßvektoren, die alle Sensorsignale enthalten, nach der Hauptkomponententransformation in einem Sättigungspunkt enden. Erfindungsgemäß werden in dem Hauptkomponentenraum jeweils aufeinanderfolgende Meßvektoren miteinander verglichen, um eine Indikatorgröße zu gewinnen. Durch das iterative Vergleichen von aufeinanderfolgenden Meßvektoren im Hauptkomponentenraum werden Probleme beseitigt, die sich durch eine zeitliche Verschiebung aufgrund von Quereinflüssen, beispielsweise Einflüsse von Sensordriften vor Beginn der Meßreihe, in dem Sättigungspunkt des Hauptkomponentenraumes ergeben, da nicht die Trajektorie als solche sondern lediglich eine relative Veränderung der Meßvektoren im Hauptkomponentenraum beobachtet und zur Auswertung herangezogen wird. Dies ermöglicht beispielsweise ein Eliminieren von langzeitlichen Driften oder ein durch eine Veränderung des Sensors vor dem Beginn der Meßreihe verursachte Nullpunktverschiebung des Sensorsignals.

Bei dem Vergleich der Meßvektoren im Hauptkomponentenraum, die nachfolgend auch als Hauptkomponenten-Meßvektoren bezeichnet werden, können verschiedene Kriterien zur Anwendung kommen. Bei einem Ausführungsbeispiel wird der Abstand jeweils zweier zeitlich aufeinanderfolgenden Hauptkomponenten-Meßvektoren verwendet. Dabei stehen verschiedene Metriken, wie beispielsweise eine euklidische Metrik oder eine Mahalanobis Distanz zur Verfügung.

- 5 Ferner kann als ein weiteres Kriterium, das nachfolgend als Richtungskriterium bezeichnet wird, die Richtung eines Differenzvektors der jeweils zu vergleichenden Hauptkomponenten-Meßvektoren dienen.
- 10 Zur Berechnung der Hauptkomponenten-Meßvektoren ist es ferner möglich, eine Auswahl der Meßvektoren, die für die Hauptkomponentenanalyse verwendet werden, beispielsweise jeder zweite Meßvektor, zu verwenden. Ferner ist es möglich, eine Mittelwertbildung einer vorbestimmten Anzahl von
- 15 Meßvektoren durchzuführen, so daß eine Hauptkomponententransformation lediglich unter Verwendung der Mittelwerte durchgeführt wird.
- 20 Zur Berechnung der Hauptkomponententransformation kann jeder bekannte Algorithmus verwendet werden, wobei der Nipals-Algorithmus bevorzugt ist, der eine besonders rasche Berechnung erlaubt.
- 25 Bei einem Ausführungsbeispiel können ein oder mehrere weitere Kriterien zur Erzeugung einer oder mehrerer weiterer Indikatorgrößen verwendet werden. Ein solches Kriterium kann beispielsweise die Zeitdauer sein, bis zu der ein Endzustand erreicht wird. Die weitere Indikatorgröße kann beispielsweise zur Festlegung einer Entscheidung dienen, ob
- 30 ein weiterer Prozeßschritt notwendig ist und welcher Art dieser weitere Prozeßschritt ist.
- 35 Zur Entscheidung, ob und welche Art eines Eingreifens in den Prozeß durchgeführt werden soll, kann ein einzelnes der oben beschriebenen Kriterien oder eine Verknüpfung der Kriterien durchgeführt werden. Bei einem Ausführungsbeispiel wird ein Absolutwert und vorzugsweise ein mittlerer Absolutwert des Abstandskriteriums und des Richtungskriteriums verwendet, um eine Bestimmung durchzuführen, ob ein weite-
- 40 rer Prozeßschritt notwendig ist.

5 Die Meßdaten der Meßvektoren können Sensordaten eines oder
mehrerer bekannter Sensoren, wie beispielsweise optische,
kapazitive, amperometrische oder chemische Sensoren, umfas-
sen. Ferner können die Sensordaten auch aus einem Multisen-
sorsystem gewonnen werden.

10

Die Meßdaten der Meßvektoren können vor der Hauptkomponen-
ten einer Normierung unterzogen werden. Typischerweise wird
der Mittelwert auf 0 und die Varianz auf 1 normiert. Die
Normierung kann für die bis zu dem Zeitpunkt der jeweiligen
15 Hauptkomponententransformation erfaßten Daten durchgeführt
werden oder auf eine festgelegte Weise, die für alle wäh-
rend des gesamten Prozesses erfaßten Daten beibehalten
wird. Welche der Normierungen bei einem Prozeß zur Anwen-
dung kommt muß je nach Fall entschieden werden.

20 Bei den Sensordaten kann es sich um transiente Sensorsigna-
le, wie beispielsweise ein Spektrum oder eine Temperatur,
handeln. Ferner können die Sensordaten auch Daten einer
Zeitreihenmessung umfassen.

25 Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß
eine a priori Kenntnis des Prozesses nicht notwendig ist,
um die Hauptkomponenten bzw. Merkmale zu extrahieren. Fer-
ner ist aufgrund der sukzessiven Durchführung der Hauptkom-
ponentenanalyse kein kalibriertes Hauptkomponentensystem
30 notwendig. Ferner werden durch die regelmäßige Neuberech-
nung Probleme, die durch Sensordriften, unerwarteten Quer-
einflüssen usw. entstehen können, wenn diese zu weit von
der ursprünglichen Kalibrierung abweichen, vermieden.

35 Ferner kann die Auswahl der Sensorik entweder anhand des
Prozeßwissens oder anhand formaler Kriterien, wie bei-
spielsweise ein Einfluß auf das Ergebnis, der aus der er-
sten Teilmatrix der Hauptkomponententransformation (Loa-
dings) bestimmbar ist, bestimmt werden.

40

Ferner kann bei einem Ausführungsbeispiel eine mehrstufige
Hauptkomponententransformation zur Kombination von Sensor-

5 daten unterschiedlicher Dimensionalität verwendet werden.
 Bei einem Ausführungsbeispiel werden dabei drei Hauptkomponenten aus einem Spektrum, einem Leitwert, einer Temperatur und einer optischen Absorption als Meßvektor für die Hauptkomponententransformation verwendet.

10

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

15 Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Steuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung;

20 Fig. 2 ein Verfahrensdigramm zum Darstellen eines Steuerungsablaufs gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

25 Fig. 3 eine Darstellung einer Trajektorie, die in die Ebene der ersten beiden Hauptkomponenten des Hauptkomponententraums projiziert ist;

30 Fig. 4 ein Schaubild, bei dem ein exemplarischer Verlauf einer berechneten Indikatorgröße gegen die Zeit dargestellt ist;

35 Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Interdigital-Kondenstor-Sensor zur Belagererkennung, der als ein Sensor zum Liefern von Daten zum Durchführen einer Überwachung eines Reinigungsprozesses verwendbar ist;.

Fig. 6 eine Darstellung eines Einbaus eines Sensors zur Belagererkennung in einer Anlage.

40 Fig. 1 zeigt als ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung 100 zum Überwachen eines diskontinuierlich ablaufenden Prozesses. Die Vorrichtung

5 100 umfaßt eine Erfassungseinrichtung 110, die mit einer
Hauptkomponententransformationseinrichtung 112 verbunden
ist. Die Erfassungseinrichtung 110 ist ausgebildet, um der
Hauptkomponententransformationseinrichtung 112 Informatio-
nen des Prozesses, die beispielsweise Meßdaten sein können,
10 zu liefern. Die Meßinformationen können als eine oder meh-
rere Komponenten eines Meßvektors aufgefaßt werden, wobei
die verschiedenen Komponenten unterschiedliche Dimensiona-
lität aufweisen können. Beispielsweise kann bei einer Impe-
danzspektroskopie für einen Meßvektor 35 Impdenz-Meßwerte
15 bei unterschiedlicher Frequenz erfaßt werden, wobei in ei-
nem Meßvektor auch eine logarithmische Darstellung der Meß-
werte gewählt werden kann.

Die Erfassungseinrichtung 110 kann ein Sensor, wie bei-
20 spielsweise ein Sensor zur Messung von Leitfähigkeiten, op-
tischen Eigenschaften, einer Viskosität, einer Permittivität
einer Temperatur, einer Wärmeleitfähigkeit, einer Wärmeka-
pazität oder chemischen Eigenschaften sein. Ferner kann die
Erfassungseinrichtung 110 auch lediglich eine Schnittstelle
25 oder einen Eingang umfassen, um Meßsignale oder Meßdaten
eines Sensors zu empfangen.

Die Hauptkomponententransformationseinrichtung 112 ist fer-
ner mit einer Auswerteinrichtung 114 verbunden. Die Haupt-
30 komponententransformationseinrichtung 112 kann beispiels-
weise einen Prozessor umfassen, bei dem geeignete Hauptkom-
ponententransformationsverfahren durchgeführt werden kön-
nen, so daß aus dem Meßvektor ein Hauptkomponenten-
Meßvektor in einem Hauptkomponentenraum erzeugt wird.

35 Ebenso wie die Hauptkomponententransformationseinrichtung
112 kann auch die Auswerteeinrichtung 114 einen Prozessor
umfassen, wobei dieselben einen gemeinsamen Prozessor tei-
len können.

- 5 Unter Bezugnahme auf Fig. 2 wird im folgenden die Funktionsweise der Steuervorrichtung 100 beispielhaft näher erklärt.

10 In einem Schritt 200 wird ein Erfassen von Meßdaten durchgeführt, die vorzugsweise alle relevanten und physikalischen Parameter des zu überwachenden Prozesses erfassen. Hierbei ist darauf zu achten, daß eine ausreichende Anzahl relevanter Sensoren bzw. Sensordaten zur Verfügung steht, da die Stabilität des Verfahrens unter anderem von der Relevanz und Qualität der Daten abhängig ist. Die Erfassung der Meßvektoren wird in zeitlich aufeinanderfolgenden Abständen, die je nach Prozeßart gewählt werden können, wiederholt durchgeführt.

20 Stehen genügend Meßvektoren zur Verfügung, so wird in einem Schritt 210 eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. Bei einer Hauptkomponententransformation handelt es sich um ein mathematisches Verfahren, bei dem unter Verwendung der eingegebenen Daten mittels einer multivarianten Statistik Hauptkomponenten bzw. Merkmale extrahiert werden und die
25 eingegebenen Meßvektoren in einen Hauptkomponentenraum transformiert werden. Weitere Erklärungen bezüglich der Grundlagen der Hauptkomponententransformation finden sich beispielsweise in der EP 1 143 240 A1.

30

Die Hauptkomponentenanalyse stellt für ein Überwachungs- oder Steuerverfahren ein geeignetes Mittel zur Verfügung, um die Merkmale zu extrahieren, ohne daß eine a priori Kenntnis des Prozesses entweder beim Bedienungspersonal
35 oder implizit in den eingesetzten Algorithmen notwendig ist. Vorzugsweise wird zur Berechnung der Hauptkomponententransformation ein Nipals-Algorithmus verwendet, der eine besonders rasche Berechnung erlaubt.

40 Zur Durchführung der Hauptkomponentenanalyse werden vorzugsweise alle bis zu dem Berechnungszeitpunkt zur Verfügung stehenden Meßvektoren verwendet werden. Es kann jedoch

5 auch eine Auswahl der Meßvektoren getroffen werden, dahin-
gehend, daß beispielsweise lediglich die letzten n Meßvek-
toren verwendet werden. Weiter kann auch eine Auswahl da-
hingehend getroffen werden, daß bestimmte Meßvektoren für
10 die Hauptkomponentenanalyse herausgefiltert werden, bei-
spielsweise indem lediglich jeder zweite Meßvektor verwen-
det wird. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn eine
Reduktion der Meßvektoren zur Beschleunigung der Hauptkom-
ponententransformation durchgeführt werden soll. Ferner
kann auch eine Reduktion der Meßvektoren mittels einer Bil-
15 dung von Mittelwerten erreicht werden. Als ein Beispiel sei
hier beispielsweise die Berechnung eines gleitenden Mittel-
werts genannt.

Vorzugsweise wird die Hauptkomponententransformation derart
20 durchgeführt, daß eine Transformation auf die Eigenvektoren
lediglich für die wichtigsten Hauptkomponenten erfolgt, wo-
bei sich der Rang der Wichtigkeit nach der Varianz der Meß-
vektoren richtet. Beispielsweise kann die Transformation
nur für die ersten beiden Hauptkomponenten oder ersten fünf
25 Hauptkomponenten durchgeführt werden. Je nach vorliegendem
Fall kann jedoch auch eine Auswahl der bei der Hauptkompo-
nententransformation verwendeten Hauptkomponenten durchge-
führt werden, beispielsweise indem die erste, dritte und
fünfte Hauptkomponente verwendet wird.

30 Nachdem die Hauptkomponententransformation durchgeführt
ist, sind die erfaßten Meßvektoren als jeweilige Hauptkom-
ponenten-Meßvektoren in dem Hauptkomponententraum darstell-
bar.

35 Die Hauptkomponententransformationen können auch eine Kom-
bination von Sensorsignalen unterschiedlicher Dimensionali-
tät umfassen. Beispielsweise können die Meßvektoren jeweils
aus einem Spektrum, einem Leitwert, einer Temperatur und
40 einer optischen Absorption bestehen. In diesem Fall kann
eine mehrstufige Hauptkomponententransformation zur Anwen-
dung gelangen, bei der die Hauptkomponenten aus den Meßvek-

5 toren und mit Komponenten unterschiedlicher Dimensionalität
berechnet werden.

Bei einem Ausführungsbeispiel kann auch eine Vorverarbeitung
der Meßdaten zur Dimensionsreduktion vor der Hauptkom-
10 ponententransformation erfolgen. Dabei kann eine Fourier-
transformation und eine Wavelettransformation verwendet
werden.

Das Durchführen der Hauptkomponententransformation erfolgt
15 auf eine fortlaufende Weise, derart, daß nach einer be-
stimmten verstrichenen Zeit, oder anders ausgedrückt nach
einer bestimmten Anzahl von neu erfassten Meßvektoren, eine
neue Hauptkomponententransformation unter Verwendung der
neu erfassten Meßvektoren durchgeführt wird. Die Zeitpunkte
20 jeweils neuer Hauptkomponententransformationen können dabei
vorbestimmt sein oder während des Ablaufs des Prozesses be-
stimmt oder abgeändert werden.

Folglich ergibt sich durch das fortlaufende Berechnen von
25 Hauptkomponenten-Meßvektoren in dem Hauptkomponentenraum
eine Trajektorie, die den zeitlichen Verlauf des Prozesses
darstellt. Bei einem diskontinuierlichen Prozeß erfolgt ty-
pischerweise zunächst eine starke Veränderung eines oder
mehrerer Parameter des Prozesses. An dieser Stelle sei be-
30 merkt, daß unter einem diskontinuierlichen Prozeß ein Pro-
zeß verstanden wird, bei dem zumindest ein Parameter am En-
de des Prozesses sich nicht mehr ändert oder lediglich sta-
tistisch schwankt. Ein diskontinuierlicher Prozeß kann auch
mehrere Teilprozesse umfassen, die selbst wieder diskonti-
35 nuierlich sind.

Bezogen auf die Trajektorie der Hauptkomponenten-
Meßvektoren in dem Hauptkomponentenraum bedeutet dies, daß
dieselbe in einem Sättigungspunkt bzw. Schwerpunkt endet
40 oder lediglich statistisch um denselben schwankt. Dieser
Sättigungspunkt kann jedoch bestimmten Einflüssen ausge-
setzt sein, beispielsweise Einflüssen, die sich aus einer

- 5 Temperaturänderung ergeben, wodurch eine Verschiebung desselben möglich ist.

Um dennoch auch bei auftretenden Quereinflüssen und Driften eine Steuerung vornehmen zu können, wird erfindungsgemäß
10 ein Vergleich der Hauptkomponenten-Meßvektoren durchgeführt und eine Prozeßindikatorgröße berechnet. Vorzugsweise wird dabei der zuletzt berechnete Hauptkomponenten-Meßvektor mit dem unmittelbar davor berechneten Hauptkomponenten-Meßvektor verglichen und aus denselben eine Prozeßindika-
15 torgröße berechnet. Alternativ können jedoch auch mehrere vorhergehend berechnete Hauptkomponenten-Meßvektoren zur Berechnung der Prozeßindikatorgröße verwendet werden.

Für den Vergleich stehen verschiedene Kriterien zur Verfügung. Bei dem Abstandskriterium wird der Abstand der ver-
20 glichenen Hauptkomponenten-Meßvektoren, d.h. der Betrag des Differenzvektors der sich aus der Differenz derselben ergibt, bestimmt und als Prozeßindikatorgröße verwendet. Dies kann unter Verwendung verschiedener Metriken, wie bei-
25 spielsweise der euklidischen Metrik oder der Mahalanobis Distanz erfolgen. Befindet sich der Prozeß am Ende, so streben die jeweils berechneten Abstände der Hauptkomponentenvektoren entweder dem Wert Null oder einem anderen Entwert zu. Dies kann, wie es nachfolgend noch genauer erklärt
30 wird, verwendet werden, um eine Entscheidung zu treffen, ob und welcher Eingriff in dem Prozeß durchgeführt werden soll.

Ein weiteres Kriterium, das Richtungskriterium, bietet
35 ebenfalls ein geeignetes Mittel zur Erkennung des Endes des Prozesses. Bei dem Richtungskriterium wird die Richtung des jeweiligen Differenzvektors der Hauptkomponenten-Meßvektoren als Prozeßindikatorgröße berechnet. Bei einem Ausführungsbeispiel kann auch eine Kombination der beiden
40 Kriterien durchgeführt werden. Beispielsweise kann dies mittels Bildung eines mittleren Absolutwertes erfolgen. Es sei an dieser Stelle bemerkt, daß die obengenannten Krite-

5 rien lediglich eine Auswahl darstellt, die bei dem Vergleich der Hauptkomponenten-Meßvektoren zur Berechnung einer Prozeßindikatorgröße dienen können.

10 Die Hauptkomponentenanalyse kann an ausgewählten Kalibrierprozessen durchgeführt werden, so daß für die Auswertung die an dieser Kalibrierung berechnete Hauptkomponententransformation verwendet wird. Aufgrund der sukzessiven Durchführung der Hauptkomponentenanalyse ist jedoch ein solches kalibriertes Hauptkomponentensystem nicht notwendigerweise erforderlich.

Es können auch weitere Kriterien abgeleitet werden, beispielsweise aus der Zeitdauer, bis zu der ein Endzustand erreicht wird, ob ein weiterer Prozeßschritt und wenn ja, welcher notwendig ist. In diesem Fall kann die Prozeßindikatorgröße mehrere Komponenten umfassen, wobei eine erste Größe beispielsweise für die Entscheidung, ob ein weiterer Prozeßschritt durchgeführt werden soll, relevant ist, während eine zweite Komponente der Prozeßindikatorgröße für die Auswahl des durchzuführenden Prozeßschritts relevant ist.

Nachdem die Prozeßindikatorgröße in dem Schritt 220 berechnet ist, wird in einem Schritt 230 eine Erkennung eines Endes des Prozesses unter Verwendung der Prozeßindikatorgröße durchgeführt. Das Erkennen kann beispielsweise derart sein, daß festgestellt wird, ob eine vorbestimmte Anzahl von Prozeßindikatorgrößen in einem vorbestimmten Indikatorbereich liegt. Ferner kann auch hier ein Differenzverfahren eingesetzt werden, bei dem aufeinanderfolgende Prozeßindikatorgrößen miteinander verglichen werden, um eine relative Änderung der Prozeßindikatorgrößen festzustellen.

40 Daraufhin kann bei einem Ausführungsbeispiel zum Steuern des Prozesses ferner eine Entscheidung getroffen werden, ob ein Eingriff in den Prozess durchgeführt werden soll. Ein solcher Entscheidungsprozeß kann beispielsweise derart

5 sein, daß ein Eingreifen durchgeführt wird, wenn eine vorbestimmte Anzahl von Prozeßindikatorgrößen in einem vorbestimmten Indikatorbereich liegt.

10 Zur Verdeutlichung des unter Bezugnahme auf Fig. 2 erklärten Verfahrens wird im folgenden anhand der Figuren 3 und 4 eine exemplarische Darstellung des Verlaufs einer Trajektorie im Hauptkomponententraum und einer Prozeßindikatorgröße erklärt.

15 Fig. 3 zeigt einen Verlauf von Indikatorgrößen in einem Diagramm, bei dem auf einer x-Achse eine erste Hauptkomponente aufgetragen ist, während auf einer y-Achse eine zweite Hauptkomponente aufgetragen ist. Der dargestellte Verlauf zeigt dabei eine Projektion einer Trajektorie eines
20 Hauptkomponenten-Meßvektors in die Ebene dieser ersten beiden Hauptkomponenten.

Wie es zu erkennen ist, startet die Trajektorie an einem Punkt 26 und bewegt sich über einen Punkt 27, 28 usw. in
25 einem mit einem Bezugszeichen 300 versehenen Bereich, der für die Punkte 32 und alle folgenden nicht mehr verlassen wird. Das Verbleiben in dem Bereich 300 zeigt somit das Ende der Reinigung an.

30 Unter Bezugnahme auf Fig. 4 wird im folgenden ein Diagramm erklärt, das den zeitlichen Verlauf des berechneten Prozeßindikators darstellt. In dem Schaubild ist auf einer x-Achse die Zeit in Minuten aufgetragen, während auf einer y-Achse die Prozeßindikatorgröße in Einheiten der Mahalanobis-Distanz (willkürlichen Einheiten) dargestellt ist.
35

Bei dem durch die Figuren 3 und 4 dargestellten Prozeß handelt es sich um einen Reinigungsprozeß mit Lauge, bei dem durch das erfindungsgemäße Verfahren die Änderung des Be-
40 lags erkannt und die Reinigung entsprechend dazu gesteuert werden soll, wie es nachfolgend noch näher erklärt wird.

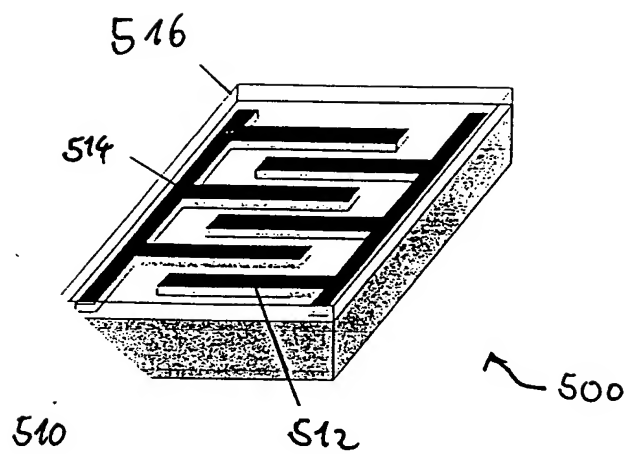


Fig. 5

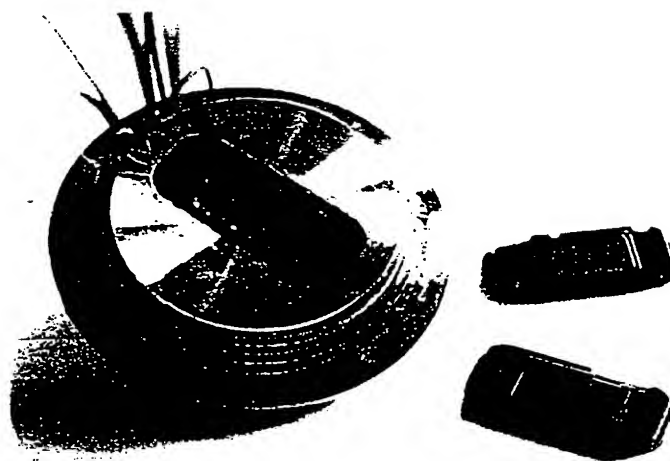


Fig. 6

5 Folglich kann die in dem Schaubild von Fig. 4 aufgetragene
Prozeßindikatorgröße als ein Belagindikator aufgefaßt wer-
den. Die Prozeßindikatorgröße wurde bei diesem exemplari-
schen Beispiel durch eine Mahalanobis-Distanz zweier auf-
einanderfolgenden Meßvektoren berechnet. In dem Diagramm
10 ist mit einem Bezugszeichen 400 ein Schwellenwert bezeich-
net, der zum Entscheiden bezüglich des Durchführens eines
Prozeßeingriffs verwendet wird. Ein dauerhaftes Unter-
schreiten dieses Schwellenwerts zeigt an, daß die Reinigung
beendet ist.

15 Folglich kann durch das Bestimmen einer dauerhaften Unter-
schreitung des Schwellenwerts, beispielsweise, indem eine
vorbestimmte Anzahl von Punkten den Schwellenwert unter-
schreitet, das Prozeßende erkannt werden, wobei daraufhin
20 geeignete Steuermaßnahmen zum Eingreifen in den Reinigungs-
prozeß durchgeführt werden können.

Als ein Ausführungsbeispiel wird im folgenden der Aufbau
zum Steuern eines Reingigungsprozesses in einer Rohrleitung
25 beschrieben, bei dem die in Fig. 3 und 4 dargestellten Da-
ten gewonnen wurden.

Fig. 5 zeigt einen Sensor, der bei diesem Ausführungsbei-
spiel einen Interdigitalkondensator umfaßt, dessen Impedanz
30 von einem darauf abgeschiedenen Belag abhängig ist. Zur An-
wendung kommt eine Impedanzspektroskopie, die es ermög-
licht, ein Sensorsignal zu erfassen. Der Interdigitalkon-
densator 500 weist einen bekannten Aufbau auf, bei dem auf
ein dielektrisches Substrat 510 eine erste Kammelektroden-
anordnung 512 und eine zweite Kammelektrodenanordnung 514
35 aufweist. Ferner weist der Interdigitalkondensator eine
Schutzschicht 516 aus SiC auf, die einen chemischen und me-
chanischen Schutz für den Sensor liefert. Die Schutzschicht
516 definiert auf ihrer Außenseite die aktive Fläche des
40 Sensors.

- 5 Fig. 6 zeigt ferner, wie der in Fig. 5 beschriebene Sensor in eine Adaptorplatte eingebaut werden kann, um den Belag in der Rohrleitung zu erkennen und eine dementsprechende Steuerung des Reinigungsprozesses durchzuführen.

5

Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen eines Prozesses mit folgenden Schritten:
 - 10 Wiederholtes Erfassen (200) von zumindest zwei unterschiedlichen Informationen des Prozesses;

Durchführen (210) einer Hauptkomponententransformation aufgrund der erfaßten Informationen ohne Verwendung von vor dem Überwachungsverfahren erfaßten Informationen, um einen Hauptkomponenten-Meßvektor in einem Hauptkomponentenraum zu berechnen;

15 Berechnen (220) einer Prozeßindikatorgröße unter Verwendung des berechneten Hauptkomponenten-Meßvektor und einem oder mehreren vorhergehend berechneten Hauptkomponenten-Meßvektoren; und

20 Erkennen (230) eines Prozeßendes unter Verwendung der Prozeßindikatorgröße.

25
 2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Prozeß ein diskontinuierlich ablaufender Prozeß ist.
 - 30 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Schritt des wiederholten Erfassens (200) ein Erfassen von zumindest zwei unterschiedlichen Meßdaten des Prozesses aufweist.
 - 35 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem der Schritt des Durchführens (210) einer Hauptkomponententransformation ferner den Schritt eines Auswählens der erfaßten Informationen umfaßt, um lediglich für die ausgewählten Informationen eine Hauptkomponententransformation durchzuführen.

40

- 5 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem
der Schritt des Durchführens (210) einer Hauptkompo-
nententransformation ferner ein Mitteln der erfaßten
Informationen zum Erzeugen von Mittelwertinformatio-
nen, die bei der Hauptkomponententransformation ver-
10 wendet werden, umfaßt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem
der Schritt des Berechnens (220) einer Prozeßindika-
torgröße das Berechnen eines Betrags und/oder einer
15 Richtung eines Differenzvektors umfaßt, der aus dem
berechneten Hauptkomponenten-Meßvektor und einem vor-
hergehenden Hauptkomponenten-Meßvektor gebildet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem in
20 dem Schritt des Erkennens (230) eines Prozeßendes das
Ende des Prozesses angezeigt wird, wenn eine vorbe-
stimmte Anzahl von Prozeßindikatorgrößen in einem vor-
bestimmten Indikatorbereich liegt.
- 25 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, das ferner
den Schritt eines Eingreifens in den ablaufenden Pro-
zeß umfaßt, wenn bei dem Schritt des Erkennens eines
Prozeßendes ein Ende des ablaufenden Prozesses erkannt
wird.
- 30 9. Vorrichtung (100) zum Überwachen eines ablaufenden
Prozesses mit folgenden Merkmalen:
- einer Erfassungseinrichtung (110) zum wiederholten Er-
35 fassen von zumindest zwei unterschiedlichen Informa-
tionen des Prozesses;
- einer Einrichtung (112) zum Durchführen einer Haupt-
komponententransformation aufgrund der erfaßten Infor-
40 mationen, wodurch ein Hauptkomponenten-Meßvektor in
einem Hauptkomponententraum berechnet wird; und

- 5 einer Auswerteeinrichtung (114) zum Berechnen einer
Prozeßindikatorgröße unter Verwendung des berechneten
Hauptkomponenten-Meßvektors und einem oder mehreren
vorhergehend berechneten Hauptkomponenten-Meßvektoren,
wobei die Auswerteeinrichtung (114) ferner ausgebildet
10 ist, um ein Ende des Prozesses unter Verwendung der
Prozeßindikatorgröße zu erkennen.
10. Vorrichtung (100) nach Anspruch 9, bei der die Erfas-
sungseinrichtung (110) eine oder mehrere Sensoren um-
15 faßt, die aus der Gruppe ausgewählt sind, die einen
optischen Sensor, einen kapazitiven Sensor, einen am-
perometrischen Sensor, einen Temperatursensor und ei-
nen chemischen Sensor umfaßt.
- 20 11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, bei der die Ein-
richtung (112) zum Durchführen einer Hauptkomponenten-
transformation ferner ausgebildet ist, um aus den er-
faßten Informationen des Prozesses eine Auswahl zu
treffen, so daß eine Hauptkomponententransformation
25 lediglich für die ausgewählten Informationen des Pro-
zesses durchgeführt wird.
12. Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 9 bis 11,
bei der die Einrichtung (112) zum Durchführen einer
30 Hauptkomponententransformation ferner ausgebildet ist,
um eine Hauptkomponententransformation unter Verwen-
dung von Mittelwertinformationen durchzuführen, die
durch Mittelung der erfaßten Informationen des Prozes-
ses gebildet werden.
- 35 13. Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 9 bis 12,
bei der die Auswerteeinrichtung ausgebildet ist, um
die Prozeßindikatorgröße unter Verwendung eines Ab-
stands des berechneten Hauptkomponenten-Meßvektors von
40 einem vorhergehenden Hauptkomponenten-Meßvektor
und/oder einer Richtung eines Differenzvektors aus dem

- 5 berechneten Vektor und einem vorhergehenden Vektor zu berechnen.
- 10 14. Vorrichtung (100) nach Anspruch 13, bei dem die Prozeßindikatorgröße aus den Absolutwerten des Abstands und der Richtung des Differenzvektors berechnet wird.
- 15 15. Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 9 bis 14, bei der die Erfassungseinrichtung (110) ausgebildet ist, um transiente Meßsignale zu erfassen.
- 20 16. Vorrichtung (100) nach Anspruch 15, bei der die transienten Meßsignale ein Spektrum oder ein Temperatursignal umfassen.
- 25 17. Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 9 bis 16, bei der die Erfassungseinrichtung ausgebildet ist, um Zeitreiheninformationen zu erfassen.
- 30 18. Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 9 bis 17, bei der die Erfassungseinrichtung ausgebildet ist, um zumindest zwei unterschiedliche Parameter unterschiedlicher Dimensionalität zu erfassen und wobei die Einrichtung (112) zum Durchführen einer Hauptkomponententransformation ausgebildet ist, um eine mehrstufige Hauptkomponententransformation aufgrund der zumindest zwei unterschiedlichen Parameter unterschiedlicher Dimensionalität durchzuführen.
- 35 19. Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 9 bis 18, die ferner eine Steuereinrichtung aufweist, um in den ablaufenden Prozeß einzugreifen, wenn durch die Auswerteeinrichtung ein Ende des Prozesses erkannt wird.

5

**Vorrichtung und Verfahren zum Überwachen eines ablaufenden
Prozesses**

10

Zusammenfassung

Eine Vorrichtung zum Überwachen eines Prozesses weist eine Erfassungseinrichtung zum wiederholten Erfassen von zumindest zwei unterschiedlichen Informationen des Prozesses auf. Eine Einrichtung zum Durchführen einer Komponenten-
15 transformation verwendet die erfaßten Informationen, um einen Hauptkomponenten-Meßvektor in einem Hauptkomponententraum zu berechnen. Eine Auswerteeinrichtung berechnet eine
20 Prozeßindikatorgröße unter Verwendung des berechneten Hauptkomponenten-Meßvektors mit einem oder mehreren Hauptkomponenten-Meßvektoren einer vorhergehenden Erfassung. Die Auswerteeinrichtung ist ferner ausgebildet, um ein Prozeß-
25 Bende unter Verwendung der Prozeßindikatorgröße zu erkennen.

30

Figur

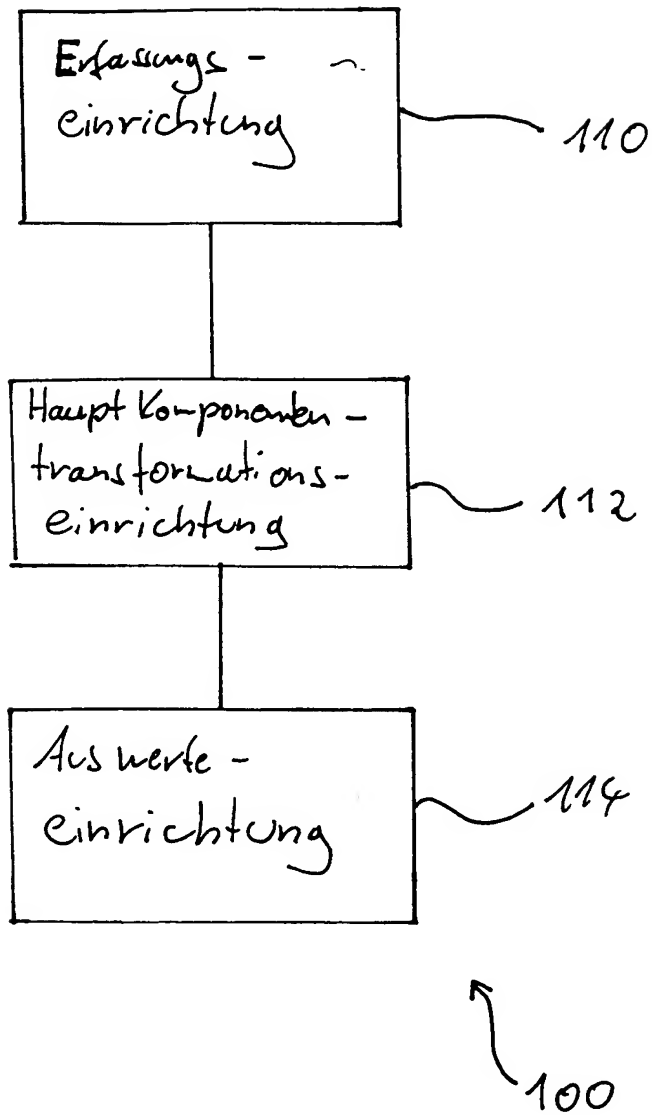


Fig. 1

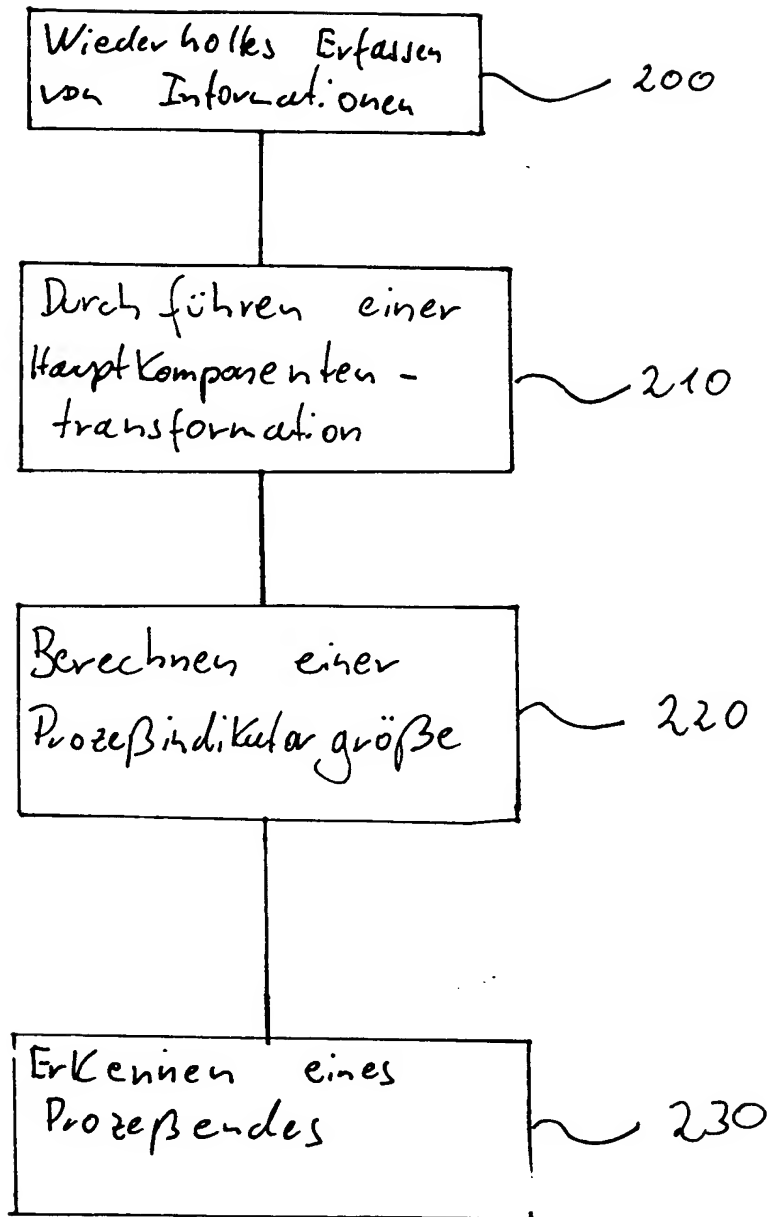


Fig 2

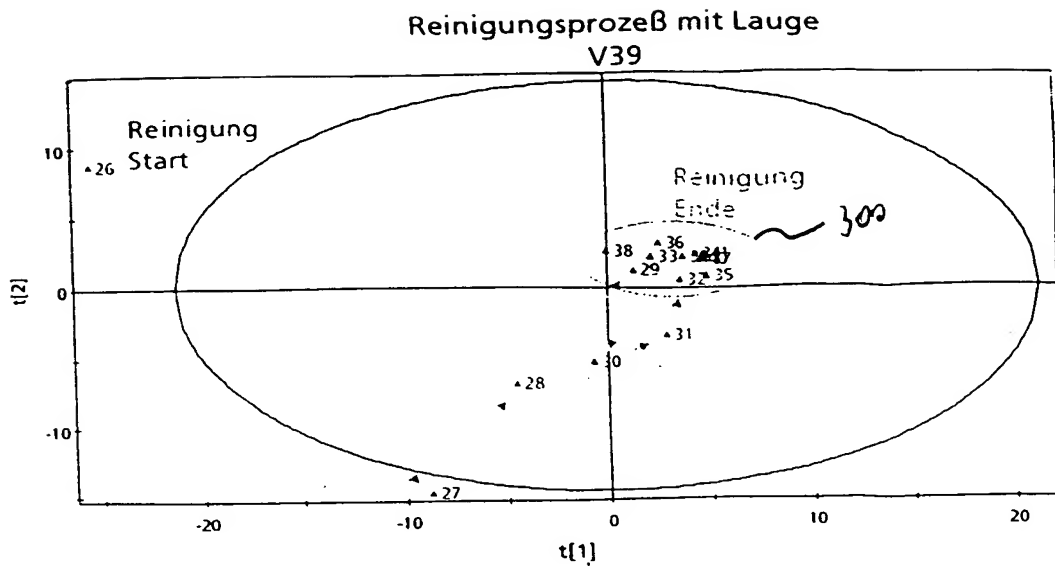


Fig. 3

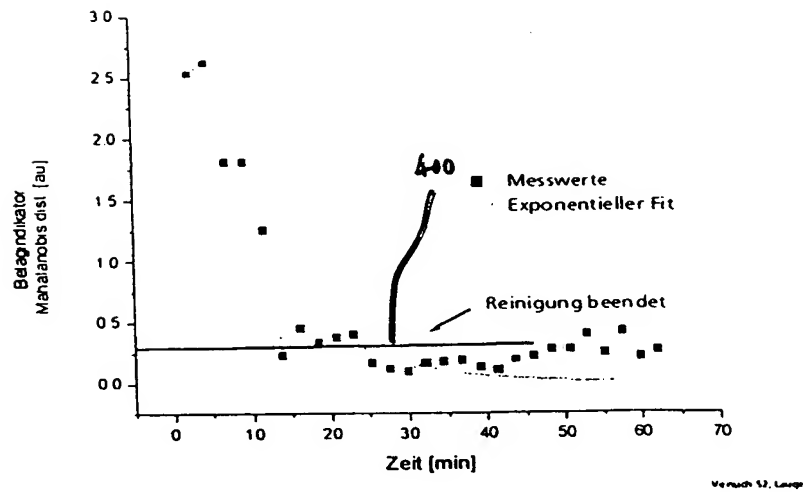


Fig. 4